

НАСТРОЙКА АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ БПЛА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СЕМЕЙСТВА ARDUINO

Д.А. Журман, А.С. Фадеев
Научный руководитель – А.С. Фадеев
Томский политехнический университет
daz18@tpu.ru

Введение

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) — летательный аппарат без экипажа на борту. Использование данных устройств становится всё более частым явлением. Во многих сферах деятельности человека внедрение БПЛА позволяет добиться лучших показателей качества, затрачивая на это меньше ресурсов и задействуя минимум рабочей силы. Решение задачи интеграции беспилотных летательных аппаратов в новые отрасли является отличным примером работы по автоматизации технологических процессов и производств.

Аэродинамический баланс БПЛА с четырьмя пропеллерами (квадрокоптера) сохраняется постоянным благодаря постоянному считыванию показаний встроенных датчиков (акселерометра и гироскопа) и внесением соответствующих изменений в скорость вращения каждого двигателя. Так как ручное управление всеми четырьмя двигателями является трудной задачей, то за стабилизацию квадрокоптера отвечает соответствующая автоматическая система.

Развитие технологий позволило создать БПЛА с высоким уровнем надежности, безопасности и удобства эксплуатации. Возрастающая актуальность квадрокоптеров объясняется широкими возможностями их применения и на сегодняшний день существует немало производителей, которые демонстрируют свои решения в этой области. Однако данные решения до сих пор стоят достаточно дорого, поэтому все больше и больше людей стараются собрать квадрокоптер самостоятельно.

Довольно часто квадрокоптеры проектируют только с использованием гироскопа для определения положения в пространстве. Однако данное решение обладает рядом недостатков:

1. При использовании только гироскопа значения углов крена, тангажа и рыскания колеблются в некотором диапазоне, что делает определение положения в пространстве не совсем точным.
2. При включении квадрокоптера на наклонной поверхности, гироскоп не может правильно определить, где находится нулевой уровень, что приводит к отклонению значений углов крена, тангажа и рыскания.

В настоящей работе рассматривается процесс проектирования и настройки квадрокоптера, содержащего акселерометр в составе системы управления.
Составные части рассматриваемого летательного аппарата:

1. Аппаратно-вычислительная платформа Arduino UNO;

2. Гироскоп MPU-6050;
3. Бесколлекторный двигатель A2212;
4. Регулятор скорости Hobbysky;
5. Приемник WFR07S;
6. Пульт WFT07;
7. Рама HJ450;
8. Аккумулятор HBR.

Настройка акселерометра

Акселерометр – прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением).

Согласно технической документации к MPU-6050 значение выхода акселерометра составляет 4096, когда к датчику прикладывается $1g$. Среднее ускорение свободного падения на Земле приблизительно составляет $9,8 \text{ м/с}^2$, что соответствует $1g$, поэтому значение выхода акселерометра в состоянии покоя составляет 4096.

Если перевернуть акселерометр вверх дном, то ускорение будет находиться в противоположном направлении, а значение акселерометра составит -4096 .

Значение выхода в трех-осевом акселерометре основано на направлении гравитационной силы Земли. Таким образом, используя значения выхода акселерометра можно рассчитать углы крена, тангажа и рыскания MPU-6050.

Для того чтобы изучить принцип расчета углов крена, тангажа и рыскания акселерометр был приподнят на угол 45 градусов к оси тангажа. Значение выхода акселерометра стало равно 2920. Общее ускорение свободного падения g , действующее на акселерометр не изменилось и составило 4096. Далее был вычислен угол α между вектором ускорения свободного падения и вектором силы, действующей на акселерометр путем вычисления арккосинуса отношения 2920 и 4096.

$$\alpha = \arccos\left(\frac{2920}{4096}\right) \approx 45^\circ \quad (1)$$

Таким образом, полученное значение угла α примерно совпадает с действительным значением угла наклона акселерометра.

Расчет вектора гравитации g , действующей на акселерометр, осуществляется по следующей формуле:

$$g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2} \quad (2)$$

где g_x – проекция вектора ускорения на ось X, g_y – проекция вектора ускорения на ось Y, а g_z – проекция вектора ускорения на ось Z.

Значения углов крена γ , тангажа ψ и рыскания β рассчитываются по следующим формулам:

$$\gamma = \arccos\left(\frac{g_x}{g}\right) \quad (3)$$

$$\psi = \arccos\left(\frac{g_y}{g}\right) \quad (4)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{g_z}{g}\right) \quad (5)$$

Таким образом, после занесения данных формул в микроконтроллер, значения углов, определяемые акселерометром, были близки к действительным. Однако при установке акселерометра на квадрокоптер и запуске двигателей, возникают вибрации, из-за которых измерение значения углов происходит с большой погрешностью.

Для решения данной проблемы было принято решение использовать скользящее среднее для значений выхода гироскопа во время вибрации. Однако в данном случае изменение угла наклона фиксируется акселерометром с некоторой задержкой.

Для уменьшения задержки было принято решение разделить полученное скользящее среднее на некое число, полученное эмпирическим путем. При использовании значений этого числа близким к нескольким десяткам и более, задержка при изменении угла наклона оставалась приемлемой для корректировки положения аппарата в пространстве. Этой небольшой части показаний акселерометра достаточно для того, чтобы компенсировать колебания значений углов крена, тангажа и рыскания, определяемых при помощи гироскопа.

Таким образом, конечное значение углов крена, тангажа и рыскания будет складываться из показаний акселерометра и гироскопа. Однако для того чтобы устранить погрешность акселерометра, возникающую при вибрациях, значение, которое вносит акселерометр, должно составлять от 0.0001 до 0.001. Формула для расчета конечного значения угла наклона выглядит следующим образом:

$$\gamma = 0,9995 \cdot \gamma_{gyro} + 0,0005 \cdot \gamma_{acc} \quad (6)$$

Для того, чтобы решить проблему с определением гироскопом нулевого уровня при запуске на наклонной поверхности, в начальный момент времени необходимо принять значения углов гироскопа равными значениями углов акселерометра.

Таким образом гироскоп сможет определить нулевой уровень при старте.

После занесения данных формул в микроконтроллер, значения углов крена, тангажа и рыскания при запуске немного отличались от 0. Для устранения этого в формулы, рассчитывающие углы крена, тангажа и рыскания, была добавлена операция вычитания корректирующих значений, полученных при запуске.

Заключение

Из результатов проведенного исследования можно сделать вывод о том, что акселерометр был настроен правильно, так как квадрокоптер осуществлял стабилизацию без сбоев и ошибок.

Данный алгоритм настройки не является единственным. Довольно часто применяется фильтр Калмана для того, чтобы устранить погрешность акселерометра, возникающую при вибрациях и для определения оптимальной комбинации между гироскопом и акселерометром. Однако данный фильтр гораздо сложнее в реализации и программировании, чем предложенный алгоритм, и довольно часто фильтр Калмана переоценивает часть, которую вносит акселерометр, что приводит к погрешностям измерения. Подобная настройка с небольшими корректировками может быть использована для X-образных квадрокоптеров со схожими габаритами и техническими характеристиками.

Список использованных источников

1. MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions Revision 4.2 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Register-Map1.pdf>. – (дата обращения 18.11.2018).
2. Улли Соммер Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012.
3. Официальный сайт Arduino [Электронный ресурс]. – URL: <http://arduino.cc>. – (дата обращения 18.11.2018).
4. Петин, Виктор Александрович. Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2015. — 462 с.: ил. — Электроника. — ISBN 978-5-9775-3550-2.
5. Работа выполнена при поддержке Благотворительного фонда Владимира Потанина в рамках гранта ГК150001773.